

復元弓の弦音の分析

著者	山田 奨治
雑誌名	武器の進化と退化の学際的研究 弓矢編
巻	27
ページ	207-218
発行年	2002-12-25
その他のタイトル	Fukugen kyu no genon no bunseki
URL	http://doi.org/10.15055/00005347

復元弓の弦音の分析

山 田 奨 治

はじめに

日本の弓は武器としてだけでなく、呪具としての機能も持っていた。古くは『源氏物語』夕顔の巻に、怪異にさいして源氏が「紙燭さして参れ。隨身も、弦打ちして、絶えずこわづくれ」と滝口の武士たちに命じる台詞がある。『源氏物語』での弦打ちは、呪術的な意味合いよりもむしろ武力の誇示であったかもしれない。しかし、民間に伝わる呪術としての梓弓は、記録こそないものの、相当古くからあったものと思われる。今日、主として江戸時代に体系化された鳴弦・藝目の儀式や各種の弓矢を使った民俗行事、梓弓系の占いなどにいしえの名残をみることができる。

弓弦を打ち鳴らす音に呪術的な意味を持たせた例は、諸外国にはみられない。和弓が文化的に多大な影響を受けてきた中国大陆の弓矢でも、その弦音の呪術的な使用はみられない。

本論文では、日本の弓弦の音が呪術的な意味を持ち得たのは、長弓であることと、弓体を上長下短に使用するという和弓に特異な特徴と関係しているとの仮説に立ち、復元された縄文時代以後の古代弓について、それらの弦音を測定し、音響分析と考察をおこなう。

1 方 法

音響測定のために復元した弓は、縄文時代の弓から①福井県鳥浜貝塚8203号丸木弓、②東京都下宅部遺跡1号丸木弓、③東京都下宅部遺跡20号飾り弓、弥生時代の弓として④下宅部飾り弓の弓弰を弥生形式（現代弓に近い弦着脱可能構造、図1）に加工したもの、奈良時代の弓から⑤正倉院第1号梓弓、⑥正倉院第12号槻弓の6張である。復元は（株）小山弓具がおこなった。なお比較のため⑦現代弓（（株）小山弓具製竹弓）も測定した。

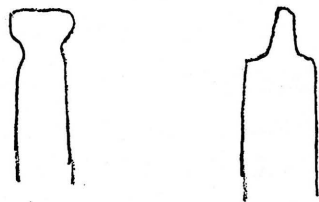


図1 縄文弓と弥生弓

梓弓の樹種については諸説ある。本研究では白井光太郎の説(1)に基づいてミズメ材を用いた。それぞれの弓の特性は表1のとおりである。弦は現代の弓道用麻弦（雲仙弦・並2匁）を使用し、正倉院梓弓については、復元品の太い麻弦も使用した。

表1 復元した弓の特性

復元弓	年代	樹種	弭間長さ (cm)	最大径 (cm)	重量 (g)	把高 (cm) (*3)	ばね定数 (kg/cm) (*4)
鳥浜丸木弓	縄文前期	マユミ	118	2.0	250	6.7	0.25
下宅部丸木弓	縄文	イヌガヤ	117	2.0	200	7.0	0.55
下宅部飾り弓	縄文後期	イヌガヤ (赤漆)	148	3.0	500	8.5	0.32
下宅部弥生弭 (弥生) (*1)		イヌガヤ (赤漆)	144	3.0	500	7.5	0.46
正倉院梓弓	奈良	ミズメ (*2)	166	2.7	450	7.3	0.64
正倉院槻弓	奈良	ケヤキ	183	2.9	600	13.5	0.67
現代弓	現代	竹、檜	216	1.6	650	17.8	0.42

(*1) 下宅部丸木弓の弓弭を弥生形式に加工したもの。

(*2) 原物は漆塗りであるが、実験には白木弓を用いた。

(*3) 弓体に無理のない強さで弦を張った。(*4) 張力0～3kgの区間で計測。

弓幹の中央部を万力で固定し、張力3kgの引尺から弦をはじく方法で弦音を出した(写真1)。万力と弓の接触部にはゴム製の緩衝剤をはさみ、万力と床とのあいだには防音マットをしいた。正倉院梓弓については、万力で固定する方法に加えて、手で持って弦打ちする方法(写真2)でも音響を収録した。

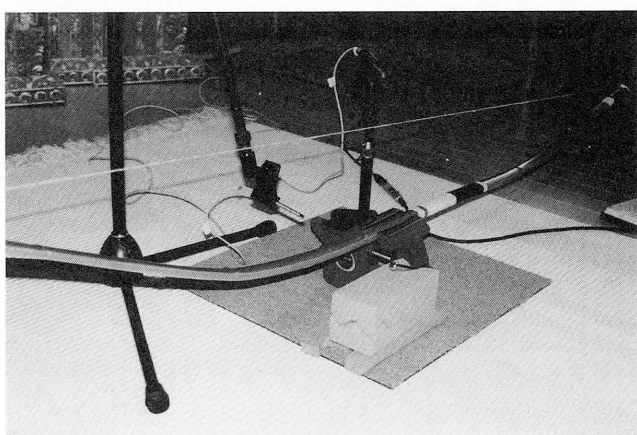


写真1

音響はメディア教育開発セ

ンター・仁科研究室の協力をあおぎ、同センター内のスタジオで収録した。弦の中央部付近に無指向性マイクロフォン (B&K4135) を設置し、別室のレコーダ (FOSTEX D-160 (改) 高速標準化1ビット量子化方式、周波数特性: DC～100kHz) で録音した。録音データはDATに変換し、それをもとに国際日本文化研究センターにおいて44,100Hz24bitで再サンプリングして元データとした。

音響はそれぞれ10数回分を収録し、それらのうちノイズのない10回分を選択して分析対象とした。分析は、最大振幅からの減衰特性の解析と、音響スペクトル分析のふたつの側面からおこなった。



写真2

2 結 果

音響減衰特性の抽出は、以下の方法をとった。

1. 原波形に対して0.1ms幅の矩形窓関数を走らせ、振幅が最大となる点を起点とする。
2. そこから0.1msの間隔で振幅をとる。
3. 最大振幅を100とし、振幅が5を切った時点までを採用する（図2）。
4. 10回分の音響の中央値をその弓の減衰特性とする。

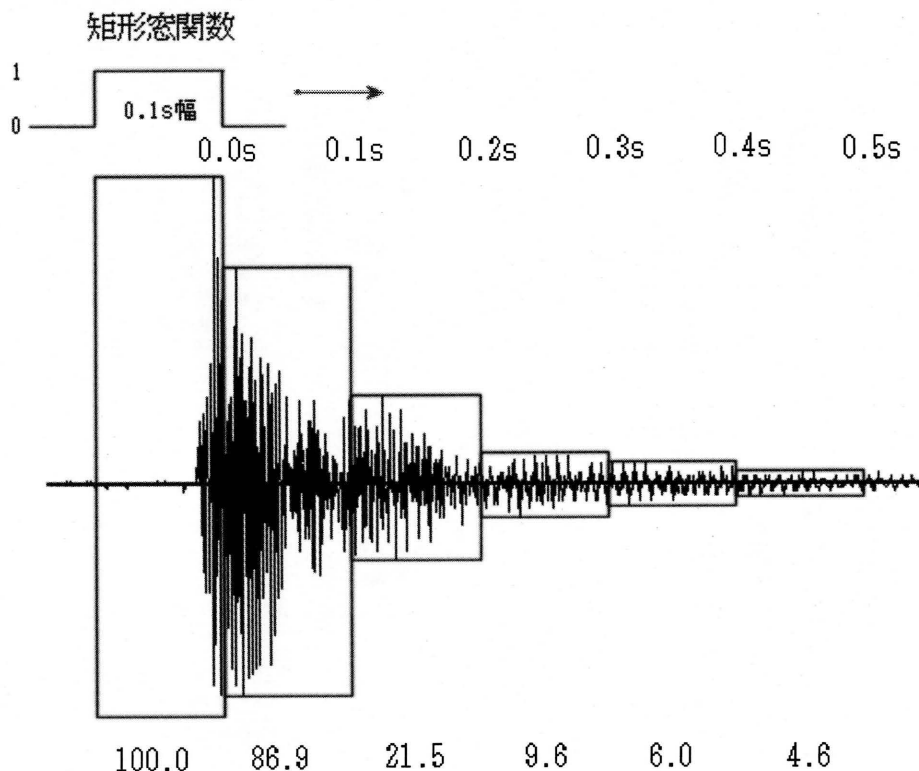


図2 音響減衰特性の抽出

音響スペクトルの抽出は、以下の方法をとった。

1. 原波形上での弦音のはじまりを始点とし、再生聴取において音響が消失したと判断できる時点を終点とする。
 2. 始点から終点の音響データ（44,100Hz 24bitサンプリング）に対して最大エントロピー法（MEM）を用いてスペクトル波形を求める。MEMのアルゴリズムはBurg法を用いる。
 3. 10回分のスペクトルを加算平均し、その弓の音響スペクトルとする。
- 各実験条件での音響減衰特性を図3に、音響スペクトルを図4に示した。

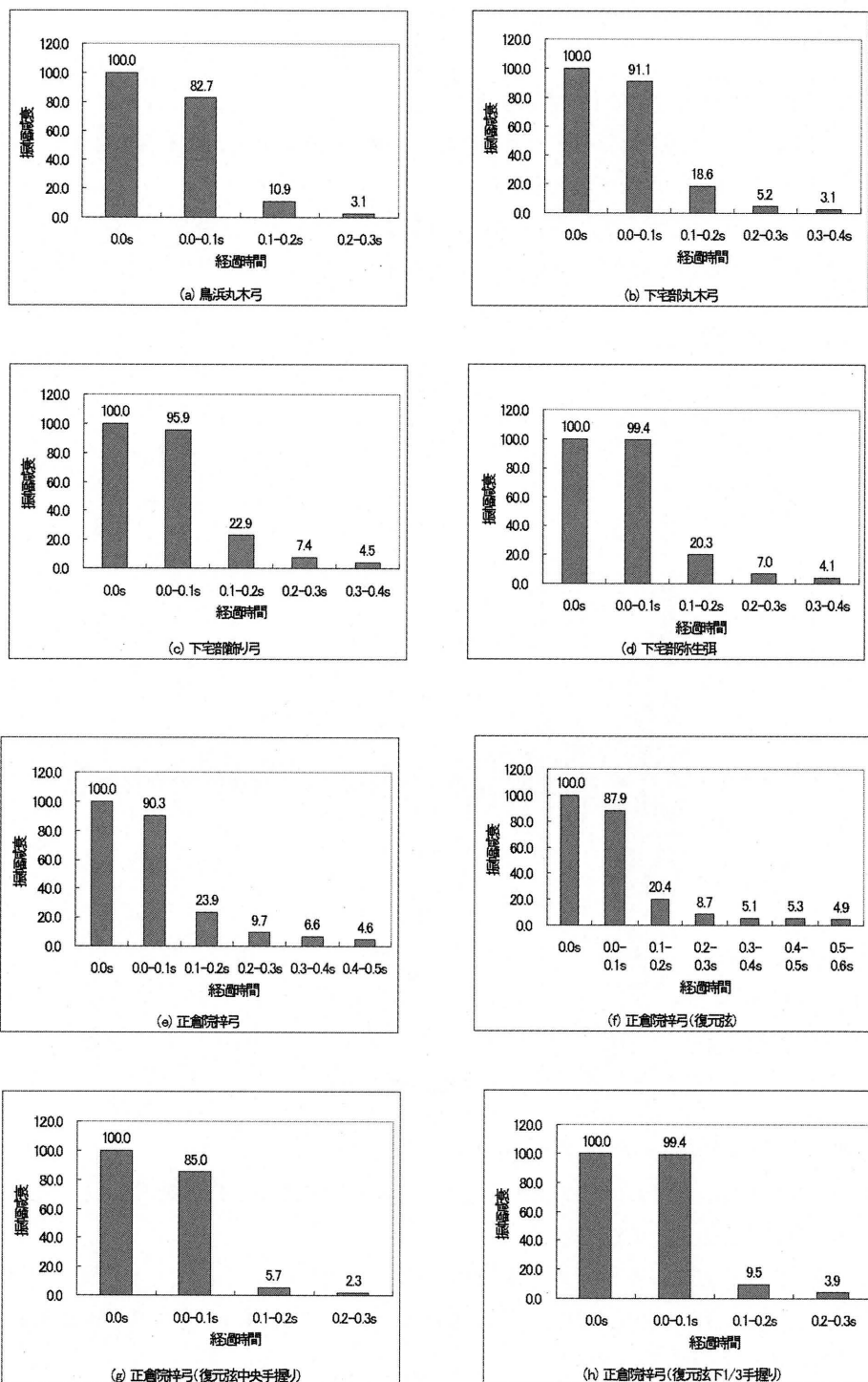


図3 音響減衰特性

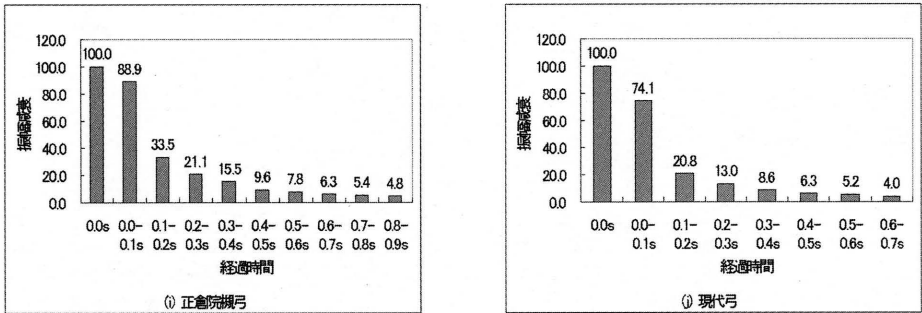


図 3 音響減衰特性 (つづき)

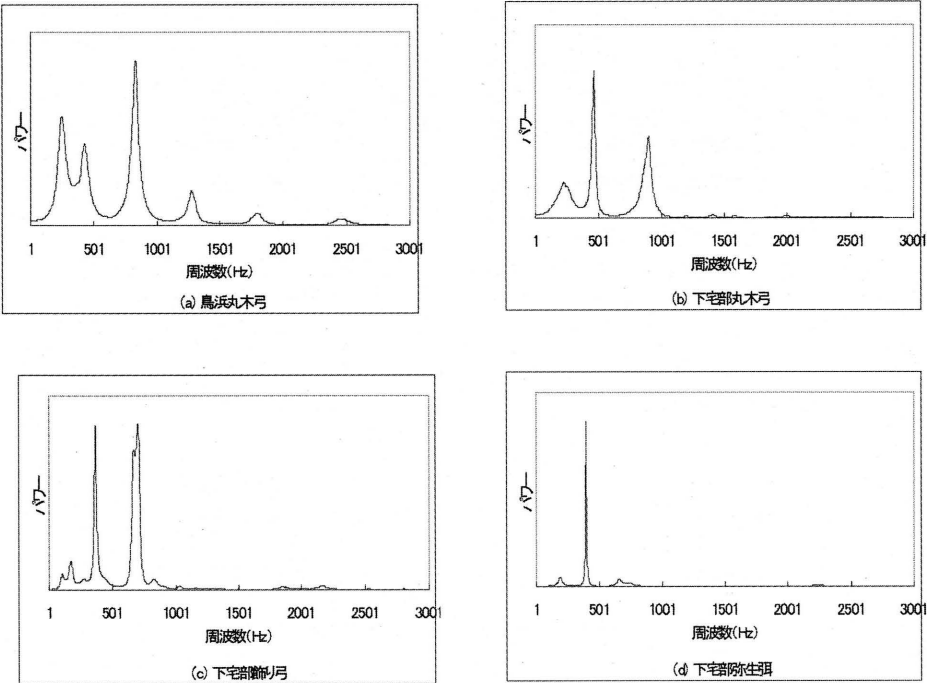


図 4 音響スペクトル

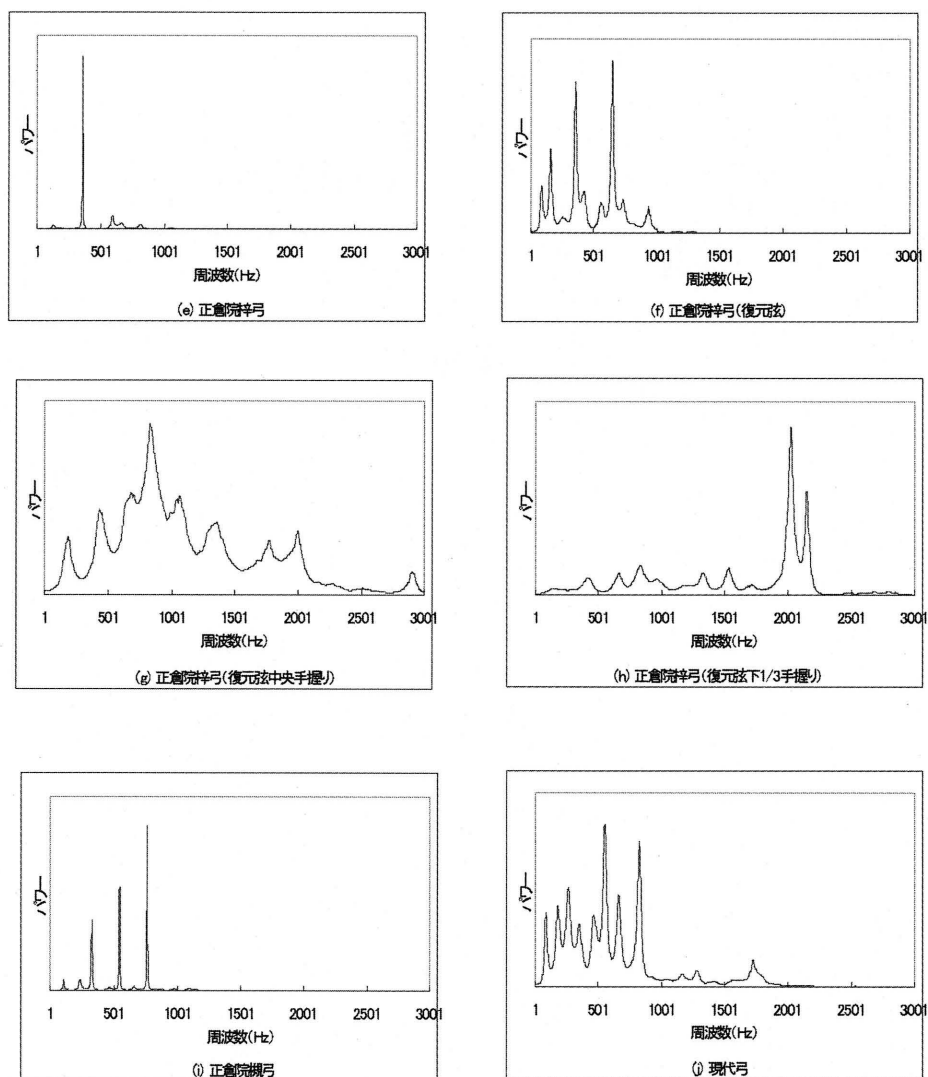


図4 音響スペクトル (つづき)

3 考 察

日本の弓弦の音が呪術的な意味を持ち得た理由を探るための観点として、①弓の長さと言響の関係、②弓を上長下短に握ることの音響への影響、③弥生弭の効果、の3点について考察する。

3-1. 弓の長さと言響の関係

まず、弓体が単一の材料からできている弓（単弓）に限定して、弓の長さ（弓弭間長さ）が弦音の残響に対してどのように影響するのかを調べる。弓体が竹と櫛を接着剤で張り合わせた構造をもつ現代弓については、ほかの単弓とは同一に考察することができないので考察対象から除外する。

図5は、現代弓を除くすべての復元弓（万力中央固定の場合）について、弭間長さと弦音の振幅の関係を、最大振幅からの経過時間ごとにプロットしたものである。分析対象時間は、すべての復元弓についてデータが得られる0.3s後までとした。0.0-0.1sの区間以外は、弭間長さと振幅の減衰に正の相関がみらる。重相関係数は0.1-0.2sの区間でもっともたかく、0.828になる。この結果は、弓が長いほど残響が長くなるという、常識的な傾向を証明するものである。和弓のように長大な弓には、弦音が長く響くという特性があるといえる。

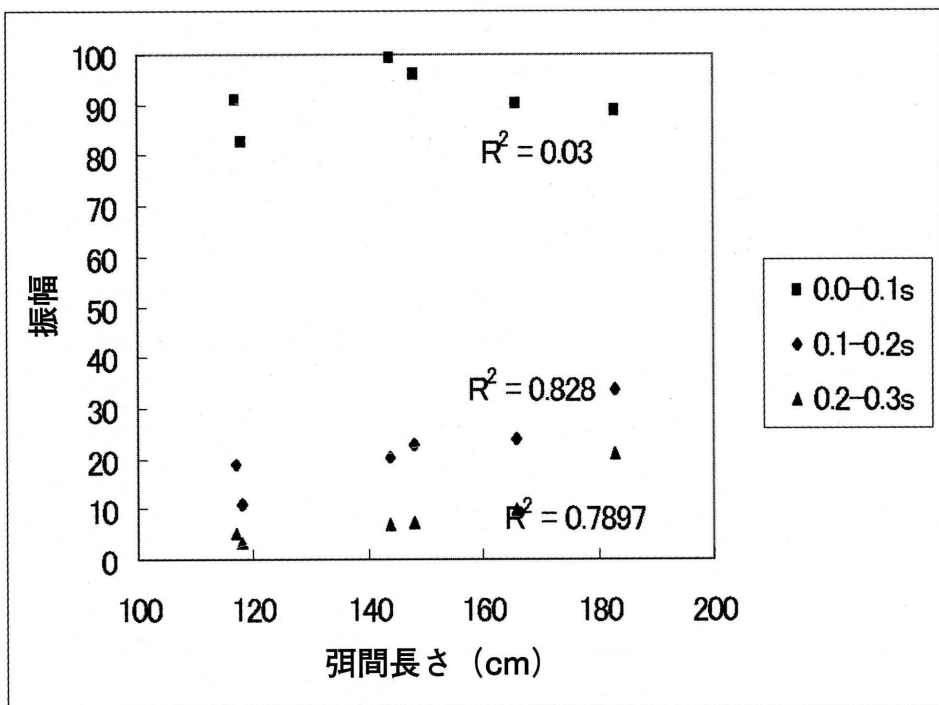


図5 復元弓（現代弓を除く）の弭間長さと弦音の振幅

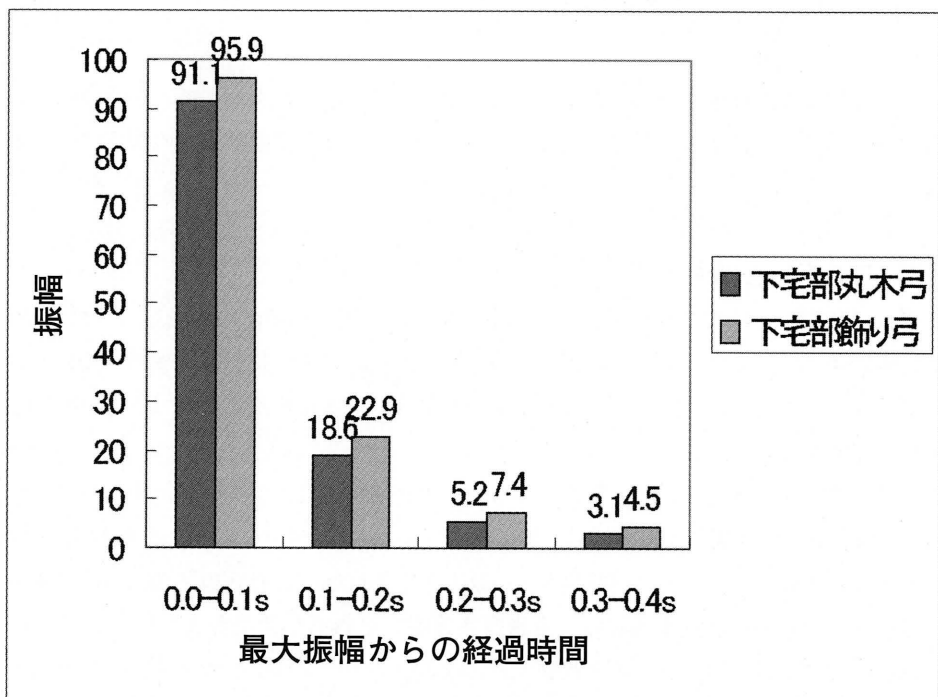


図6 下宅部遺跡出土弓の残響

おなじ遺跡から出土した短弓と長弓とでは、音響のうえでどのような違いがあるのだろうか。下宅部遺跡出土の丸木弓（弓弭間長さ117cm）と飾り弓（同141cm）とで比較してみよう。図6がその結果である。長い飾り弓のほうが残響が多い傾向がみてとれる。最大振幅から0.0～0.4sの区間について下宅部丸木弓と飾り弓とで振幅に差があるといえるか否かを0.1sきざみで2標本の両側t検定を試みた結果、0.2～0.4sの区間において有意水準1%で差があるといえることがわかった。

残響時間には、弓の長さだけではなくばね定数も影響する。すなわち長さがおなじの場合はばね定数がたかいほうが残響時間が長くなる。図7は図5とおなじ弓の群に関する時間区間ごととのばね定数と振幅の相関である。もっとも相関がたかい場合でも重相関係数は0.5462（0.1-0.2s区間）である。全体としてみた場合、ばね定数だけから残響が決まっているわけではないといえる。さらに下宅部丸木弓（ばね定数：0.55kgf/cm）と同飾り弓（0.32kgf/cm）の場合、ばね定数の面からは丸木弓のほうが残響が長くなるはずであるのに実際は飾り弓のほうが残響が長い。これは弓の長さの違いの効果にほかならない。

音響スペクトルをみると、図4（b）の下宅部丸木弓は400Hz付近と900Hz付近の2ヶ所にピークがある。図4（c）の同飾り弓のほうは360Hz付近と700Hz付近で、やはりふたつのピークが観察される。スペクトル構造の観点からは、丸木弓と飾り弓におおきなちがいはみられない。

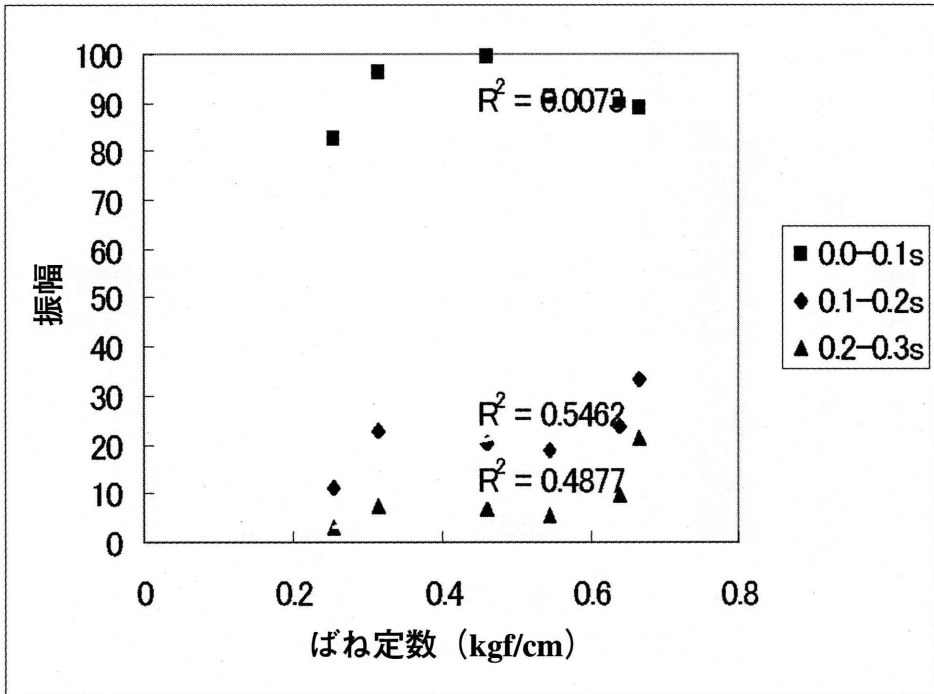


図7 ばね定数と振幅（現代弓を除く）

実際に音を聴取してみると、丸木弓のほうは短いにぶい弦音であるのに対して、飾り弓のほうはしっかりとした響きがある。下宅部丸木弓は弦をかけるための彫り込みが浅く、音響収録中に2度にわたって弦がはずれるなど、実用性があまり感じられない弓である。丸木弓は枝を荒く削っただけの単純なものであるのに対して、飾り弓のほうは赤漆がほどこされた逸品で、いかにも祭祀用という印象がある。

3-2. 弓を上長下短に握ることの音響への影響

つぎに、和弓のように弓を上長下短に使用することが、弦音にどのように影響するかを調べる。そこで正倉院梓弓（復元弦使用）の中央を手でもって弦打ちした場合と、下1/3の場所を手でもって弦打ちした場合の音響の比較をしてみる。

その前に、①現代の細い麻弦を使用した場合と復元品の太い麻弦を使用した場合との差、②万力で固定した場合と手で持った場合の差、について考察しておく必要がある。

第1の現代弦と復元弦の差については、残響時間の観点からは図3(e)と(f)を、音響スペクトルの観点からは図4(e)と(f)を比較すればよい。残響時間では、現代弦よりも復元弦のほうの方が短くなる傾向がみとれる。これは復元弦のほうが太いことからじゅうぶんに推測できることである。音響スペクトルの観点からは、現代弦は355Hzの点にはっきりとしたピークがあるのに対して、復元弦のほうはスペクトルのピークがおおきく3ヶ所にあらわれ、現

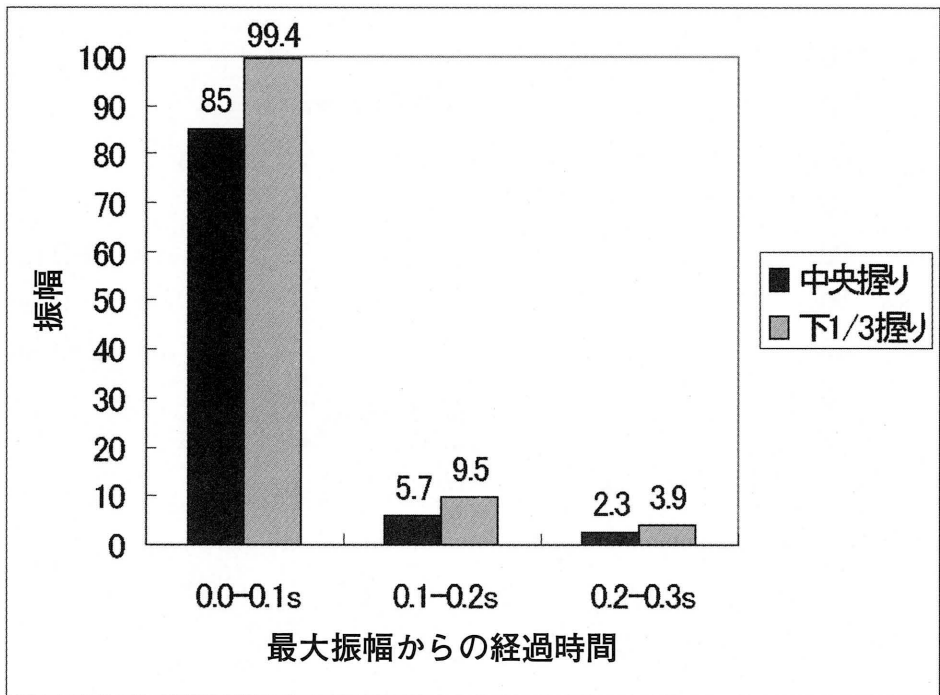


図8 正倉院梓弓（復元弦、手で持った場合）の残響

代弦よりも複雑な音響構造を示すことがわかる。

第2の万力固定と手で持った場合の差については、残響時間の観点からは図3 (f)と(g)を、音響スペクトルの観点からは図4 (f)と(g)を比較すればよい。まず残響時間の面では、万力固定よりも手で持った場合のほうが残響時間が短くなるはっきりとした傾向がある。これは万力よりも手のほうが弓体との接触面積がひろく、かつ接触面が柔らかいため、振動のたくさん吸収されることによるものである。一方、音響スペクトルの観点からは、手で持ったほうがピークが多くあらわれ、かつ周波数範囲が3,000Hz付近にまでひろがるのが観察される。これは万力と手が吸収する振動周波数帯域の相違によるものと推測される。

これらを踏まえたうえで、正倉院梓弓（復元弦使用）での手で中央を持って弦打ちした場合と、下1/3の位置を持った場合の比較に入る。図8は両者の残響時間の比較である。中央握りよりも下1/3握りのほうが残響時間が長くなる傾向が観察できる。2標本の両側t検定をした結果からも、最大振幅から0.0～0.3s間の0.1sきざみのすべての区間において有意水準1%で両者には差があるといえる。

弓をひとつの振動体と考えた場合、弓体の中央部を握ることは振動の腹を握ることになり、よりおおくの振動が外部に逃げるため必然的に残留振動がすくなくなる。うえの結果はそのような常識的な物理現象を反映したものである。

音響スペクトル面ではどうであろうか。図4 (g)と(h)を比較すればわかるように、中央握

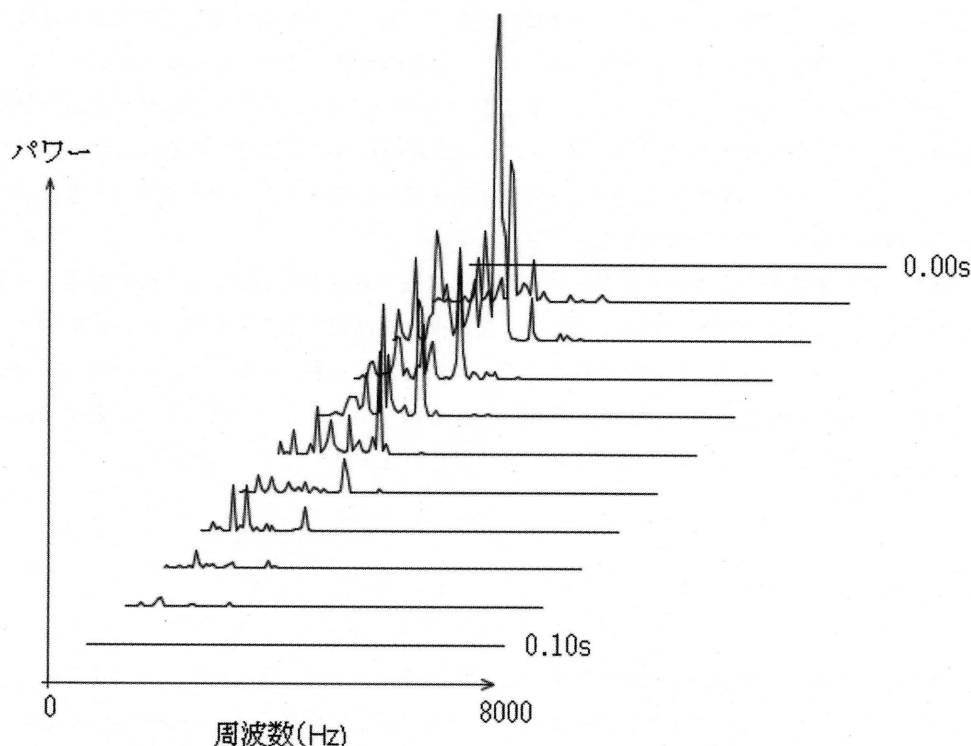


図9 正倉院梓弓（復元弦・下1/3手握り）時系列音響スペクトル

りではいくつものピークがあらわれるのに対して、下1/3握りでは2,027Hzのピークが際だってくる。音響レベルの校正ができていないため、縦軸のパワーの絶対値比較はできない。中央握りの場合は2,000Hz付近にあると推定される弓の固有振動が吸収され、相対的にピークが減少したために図4 (g)のようにいくつものピークがある形になったのではないかと推測される。

以上の結果から、弓体の下1/3の位置を握ることは弦音の残響時間を長くし、ピーク振動成分を多く残留させるといえる。この結果は、和弓の使用法は弓を楽器として使用するために極めて合理的なものであることを示している。

ただしこの分析方法には限界がある。すなわち、音の最初から最後までをひとつの音響スペクトルで分析しているからである。たとえば図9は正倉院梓弓（復元弦・下1/3手握り）のである試行における、時系列音響スペクトルである。この図からもわかるように、実際のスペクトルは0.1sというごくみじかい間でも複雑に変化している。この短時間でのスペクトルのゆらぎが音の印象に影響を与えている可能性も捨てきれない。

3-3. 弥生弭の効果

縄文時代の弓弭形状は、弓体の一部あるいは周囲に溝を彫り込んでそこに弦をかける構造

であった。ところが弥生時代にはいると弓の先端に「肩」を掘り出してそこに弦をかけるタイプの弓弭が登場してくる。この変化はどのような意味を持っているのだろうか。

音響スペクトルの面からみると、縄文弭のもの（図4 (a) (b) (c)）はピークが分散するのに対して、弥生弭のもの（図4 (d) (e) (i)）は鋭いピークが観察される。これは弭形状が音響スペクトルに影響を与えていることを示唆するものであるが、その機序はあきらかでなく、現時点のデータからは何も結論づけられない。

ただし弭の機能面から考察するならば、弥生弭は弦の着脱を容易にするものである。弓を使用しないときに弦をはずしておくことは、弓の弾性を回復させる効果があり、弥生弭は弓の機能保全の意味で極めて合理的である。そして弦をかけなおした際に、現代の弓道家もそうするように、弦輪を弓体になじませるために弦を軽くはじくという行為が自然と生まれてくる。それが呪術としての鳴弦の起源ではないかという推測も成り立つだろう。

まとめ

日本の弓弦の音が呪術的な意味を持ち得た理由を探るために、復元製作した弓を使って弦音を録音分析し、①弓の長さと言響の関係、②弓を上長下短に握ることの音響への影響、③弥生弭の効果、の3点について考察した。その結果、和弓に特異な構造である長弓であることと上長下短に使用することは、残響を長くしピーク周波数帯域の吸収をすくなくする効果を持つことがわかった。これらは弓を楽器として使用するうえで合理的なことである。また弥生弭が弦打ちの発生と関係している可能性についても、その機能面からの考察をおこなった。

今回の分析は個々の場合について1張のみの復元弓での結果であり、音響収録も1回限りのものである。より明確な結論をえるためには、さらなるデータの蓄積が必要である。

謝 辞

音響収録にあたっては、千葉工業大学教授の大橋力先生ならびにメディア教育開発センター助教授の仁科エミ先生のご指導・ご協力を賜りました。この場を借りて感謝申し上げます。

(参考文献)

- 1 戸倉章「弓矢に関する植物（前編）」『弓道講座』合本第六巻所収、雄山閣、pp.6-16、1941.